

02 P 06263



56

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 13 211 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 01 F 6/00**  
G 01 R 33/3815

⑲ Aktenzeichen: 198 13 211.5  
⑳ Anmeldetag: 25. 3. 98  
㉓ Offenlegungstag: 7. 10. 99

DE 198 13 211 A 1

⑦① Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦② Erfinder:  
Steinmeyer, Florian, Dr., 91074 Herzogenaurach, DE

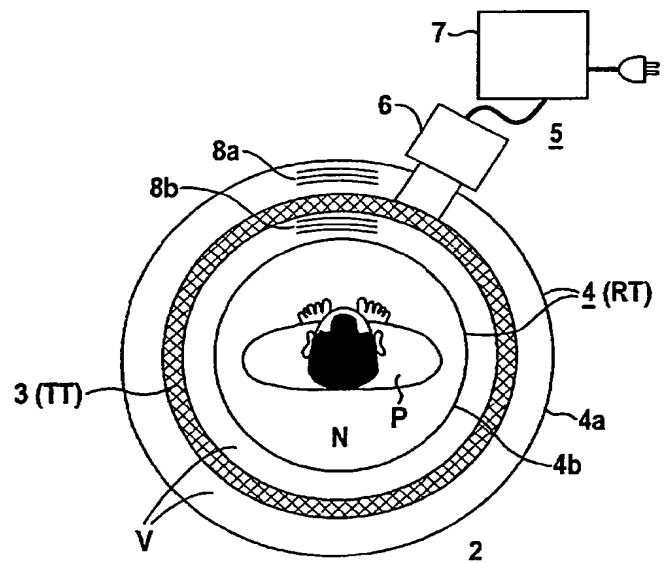
⑥⑥ Entgegenhaltungen:  
US 54 10 286  
EP 01 54 779 B1  
JP 09312210 A (Engl. Abstract);

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Supraleitende Einrichtung mit Leitern aus Hoch-T<sub>c</sub>-Supraleitermaterial

⑤⑦ Die supraleitende Einrichtung (2) enthält ein raumtemperaturseitiges Vakuumgehäuse (4), in dem sich mindestens eine supraleitende Wicklung (3) mit auf unter 77 K gehaltenem Hoch-T<sub>c</sub>-Supraleitermaterial befindet. Zur thermischen Isolation sollen alle zwischen der Wicklung (3) und dem Vakuumgehäuse (4) befindlichen thermischen Isolationsmittel (8a, 8b) ungekühlt sein. Die supraleitende Einrichtung kann insbesondere ein Magnet einer Kernspintomographie-Anlage sein.



DE 198 13 211 A 1

Wicklung eine Kältemaschine mit geschlossenem He-Druckkreislauf vorgesehen ist. Eine solche Kältemaschine kann ein Gifford-McMahon-Kühler oder ein Stirling-Kühler oder ein Pulsröhrenkühler (vgl. z. B. "INFO PHYS TECH" des VDI-Technologiezentrums, Nr. 6/Febr. 1996, mit dem Titel: "Pulsröhrenkühler: Neue Kältemaschinen für die Supraleitungstechnik und Kryoelektronik", 4 Seiten) sein. Solche Kühler besitzen zudem den Vorteil, daß die Kälte "auf Knopfdruck" zur Verfügung steht und dem Anwender die Handhabung von tiefkalten Flüssigkeiten erspart wird. Bei dieser Kühlart wird die Kühlung der supraleitenden Einrichtung, z. B. von einer Magnetspule oder einem Transformator, nur durch Wärmeleitung zum Kaltkopf eines Refrigerators indirekt gekühlt. Als besonders vorteilhaft ist auch die Verwendung mindestens eines Pulsröhrenkühlers anzusehen.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der supraleitenden Einrichtung gemäß der Erfindung gehen aus den Unteransprüchen hervor.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung noch weiter erläutert.

Dabei zeigen in der Zeichnung jeweils schematisch deren Fig. 1 einen Schnitt durch einen supraleitenden Magneten mit einem einstufigen Kühler, deren Fig. 2 einen Schnitt durch einen Magneten mit einem zweistufigen Kühler, und deren Fig. 3 und 4 jeweils im Schnitt einen C-förmigen Magneten einer Kernspintomographie-Anlage mit supraleitenden Magneteinrichtungen gemäß der Erfindung.

Dabei sind in den Figuren sich jeweils entsprechende Teile mit denselben Bezugszeichen versehen.

Bei der in Fig. 1 gezeigten supraleitenden Einrichtung gemäß der Erfindung handelt es sich insbesondere um einen supraleitenden Grundfeldmagneten einer Anlage zur Kernspintomographie bzw. zur Nuclear Magnetic Resonance (NMR) bzw. zum Magnetic Resonance Imaging (MRI). Der prinzipielle Aufbau eines solchen Magneten ist allgemein bekannt. Der mit 2 bezeichnete Magnet enthält dabei mindestens eine supraleitende Magnetwicklung 3 insbesondere mit röhrenförmigem Querschnitt. Entsprechende Magnetwicklungen bilden insbesondere eine Solenoidform und/oder sind Teil eines Spulensystems aus mehreren in einer Achsrichtung hintereinander angeordneten Spulen. Die Wicklung soll mit Leitern aus einem der bekannten HTS-Materialien wie z. B. einem Bi-Cuprat aufgebaut sein. Sie ist in einem sie konzentrisch umschließenden, evakuierten Vakuumgehäuse 4 mit einer äußeren, hohlzylindrischen Gehäusewand 4a und einer inneren, hohlzylindrischen Gehäusewand 4b umgeben. Das Vakuumgehäuse liegt dabei zumindest annähernd auf Raumtemperatur RT. Demgegenüber werden die Leiter der Magnetwicklung 3 von einer Kältemaschine 5 auf einer tiefen Betriebstemperatur TT von deutlich unterhalb 77 K, beispielsweise auf einer Temperatur zwischen 10 und 50 K, insbesondere zwischen 15 und 40 K gehalten. Bei der Kältemaschine kann es sich um einen Kryokühler vom Gifford-McMahon-Typ handeln, der beispielsweise einstufigen Kaltkopf 6 und einen daran angeschlossenen Kompressor 7 umfaßt. Der Kompressor versorgt den Kaltkopf mit He-Druckgas. Zur Verminderung der Wärmeeinleitung von den warmen Gehäusewänden 4a und 4b in dem Bereich der gekühlten Magnetwicklung 3 sind thermische Isolationsmittel vorgesehen, die gemäß der Erfindung nicht gekühlt werden. Darunter wird verstanden, daß diese Isolationsmittel nicht diskret auf ein Zwischentemperaturniveau zwischen der tiefen Betriebstemperatur TT der Magnetwicklung und der Raumtemperatur RT des Vakuumgehäuses mittels eines Kühlmittels oder einer Kältemaschine gelegt werden und

daß insbesondere auf einen gekühlten Strahlungsschild verzichtet wird. D.h., zur thermischen Isolation dienen lediglich das Vakuum V in den Zwischenräumen zwischen der Magnetwicklung und den Gehäusewänden sowie die dort befindlichen thermischen Isolationsmittel 8a und 8b. Wie in der Figur auszugsweise angedeutet sein soll, können als thermische Isolationsmittel insbesondere Lagen aus sogenannter Superisolationsfolie dienen. Es sind aber auch andere bekannte thermische Isolationsmittel wie z. B. Isolationsvliese, Isolationspulver oder geschäumte Isolationsmaterialien geeignet. Diese Isolationsmittel können auch miteinander oder mit weiteren bekannten thermischen Isolationsmitteln kombiniert sein. Es wurde erkannt, daß die Wärmelasten auf das kalte System sich dann durch Optimierung aller Verlustprozesse wie Wärmestrahlung, Aufhängung der Magnetwicklung, Stromzuführungen und Dissipation in der supraleitenden Wicklung durch resistive Prozesse so klein halten lassen, daß auf einen besonderen Strahlungsschild verzichtet werden kann. Trotzdem ist der Betrieb mit einer leistungsfähigen, einstufigen Kältemaschine bei 20 bis 30 K unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten möglich, z. B. mit einem Gifford-McMahon-Refrigerator vom Typ "Leibold RGS 120-T", der eine Wärmelast von 25 W bei 20 K abführen kann.

Wie in Fig. 1 ferner angedeutet ist, umschließt das Vakuumgehäuse 4 mit seiner inneren Gehäusewand 4b einen Nutzraum N auf Raumtemperatur RT, der zur Aufnahme eines zu untersuchenden Patienten P dient.

Selbstverständlich sind ebenfalls unter Verzicht auf einen Strahlungsschild auch mehrstufige Kältemaschinen verwendbar, wobei z. B. eine erste Stufe einer solchen Maschine z. B. eine Stromzuführung zwischenkühlt und eine zweite Stufe zur Kühlung der HTS-Wicklung herangezogen wird. Ein entsprechendes Ausführungsbeispiel zeigt Fig. 2. Gegenüber der Ausführungsform nach Fig. 1 wird hier die Magnetwicklung 3 des supraleitenden Magneten 2 von einem zweistufigen Kaltkopf 10 einer Kältemaschine 11 gekühlt. Die zweite Stufe des Kaltkopfes kühlt dabei die Wicklung z. B. auf 15 bis 40 K durch Wärmeleitung. Zur Verbesserung der Wärmeabfuhr können darüber hinaus noch weitere Maßnahmen zum Einsatz kommen, wie z. B. Gasströme oder Wärmerohre (sogenannte "head pipes"). Die in der Figur nicht dargestellten Stromzuführungen verlaufen im Vakuum V zwischen der äußeren, raumtemperaturseitigen Gehäusewand 4a des Vakuumgehäuses 4 und einem Kaltflansch der tieftemperaturseitigen Magnetwicklung 3. Sie können vorteilhaft an der ersten Stufe 10a der Kältemaschine thermisch abgefangen werden. Vorteilhaft ist auch der Einsatz von HTS-Leitern für die Stromzuführung zwischen der ersten Stufe 10a auf etwa 70 bis 100 K und der von der zweiten Stufe 10b auf etwa 15 bis 40 K gehaltenen Magnetwicklung 3. Ebenfalls ist eine Zwischenkühlung von Spulenaufhängungen möglich. Zur Beschleunigung des Abkühlens der Magnetwicklung von Raumtemperatur aus kann vorteilhaft ein Wärmeschalter verwendet werden, beispielsweise ein Gas-Schalter oder mechanischer Schalter. Die Kältemaschine kann wiederum ein Gifford-McMahon-, Stirling- oder vorteilhaft ein Pulsröhrenkühler sein, dessen Vibrationen vorteilhaft reduziert sind. Es ist auch möglich, Hybridtypen zu verwenden, bei denen z. B. die erste Stufe aus einem Gifford-McMahon-Kühler und die zweite Stufe aus einem Pulsröhrenkühler besteht.

Alternativ können auch zwei einstufige Kältemaschine verwendet werden, wobei eine Maschine die Magnetwicklung auf 15 bis 40 K kühlt. Die andere Maschine kann dann auf einer höheren Temperatur von beispielsweise 70 bis 100 K die erforderlichen Stromzuführungen zwischenkühlen, wobei der Teil der Stromzuführungen auf niedrigerer Tem-

lung (3; 17a, 17b) Teil eines Magneten (2, 15, 25) einer Kernspintomographie-Anlage ist.

11. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die mindestens eine Wicklung (3) rohrförmig gestaltet ist.

5

12. Einrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die mindestens eine Magnetwicklung (17a, 17b) an einem C-förmigen Eisenjoch (16) des Magneten (15, 25) befestigt ist.

13. Einrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Magnetwicklungen (17a, 17b) jeweils in einem eigenen Vakuumgehäuse (18a, 18b) angeordnet sind und jeweils von mindestens einem eigenen Kaltkopf (20a, 20b) wenigstens einer Kältemaschine (21) gekühlt sind.

15

14. Einrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Magnetwicklungen (17a, 17b) jeweils in einem Vakuumraum eines Vakuumgehäuses angeordnet sind, zwischen welchen Vakuumgehäusen ein weiteres Vakuumgehäuse (29) angeordnet ist, in dessen Vakuumraum mindestens ein Kaltkopf (26) wenigstens einer Kältemaschine (27) angeordnet ist, der in wärmeleitender Verbindung (Verbindungselement 28) mit den Magnetwicklungen (17a, 17b) steht.

20

15. Einrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Vakuumräume der Magnetwicklungen (17a, 17b) und des Kaltkopfes (26) einen gemeinsamen Vakuumraum eines gemeinsamen Vakuumgehäuses bilden.

25

16. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die mindestens eine Wicklung (3; 17a, 17b) auf einer Temperatur zwischen 10 K und 50 K, vorzugsweise zwischen 15 K und 40 K, gehalten ist.

17. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Hoch- $T_c$ -Supraleitermaterial ein Bi-Cuprat ist.

35

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

40

45

50

55

60

65

